

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MAJÁK PRO NÁMOŘNÍ ORIENTACI

LIGHTHOUSE FOR MARITIME COMMUNICATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Chadima

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pospíšil

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Telekomunikační a informační systémy**

Ústav telekomunikací

Student: Jan Chadima

ID: 214075

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Maják pro námořní orientaci

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je vyrobit model majáku pro námořní orientaci. Maják bude složený z modelu majáku vytisknutého na 3D tiskárně, LED diod a ovládacího panelu. Maják bude řízen pomocí HW platformy s řídícím mikrokontrolérem. Na zvolené platformě (např. Arduino, STM32) je cílem naprogramovat funkčnost majáku (ovládání světel a diod, změna periody, počet blikání) dle definovaných námořních pravidel. Ovládací panel umožní zvolit typ majáku, který určí interval blikání, přerušení led diody a umožní nastavit délku periody a kolikrát v dané periodě LED blikne.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] KHANDPUR, Raghbir Singh. Printed circuit boards: design, fabrication, assembly and testing. Tata McGraw-Hill Education, 2005.
- [2] WHITE, Elecia. Making Embedded Systems: Design Patterns for Great Software. " O'Reilly Media, Inc.", 2011.

Termín zadání: 1.2.2021

Termín odevzdání: 31.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Jan Pospíšil

Konzultant: Ing. Harman Dominik

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tahle práce se zabývá navržením a sestavením modelu majáku, který bude použit pro výuku. Jsou zde popsány druhy námořní signalizace, které jsou stanovené organizací IALA vyhláškou E-110. Dále je zde popsána platforma Arduino, vysvětlena metoda tisku a použité materiály. Pro potřeby modelu byla navrhuta deska plošných spojů s mikročipem ATmega328P, který spíná pomocí MOSFET tranzistorů RGB LED. Pro funkčnost modelu byl napsán program na platformě Arduino. Program obsahuje deset módů námořní komunikace. Dále umožňuje změnu periody, barvy LED, svítivosti a power-saving mód. Výsledkem této práce je funkční model majáku napájený akumulátorem, který je založený na majáku Green Cape Lighthouse v Austrálii v měřítku 1:58.

KLÍČOVÁ SLOVA

Maják, námořní komunikace, arduino, atmega328P, IALA, E-110, dálkové ovládání, infračervená dioda, RGB LED, 3D tisk, akumulátor, Green Cape Lighthouse

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with design and construction of lighthouse model, which will be used for teaching. It describes types of naval signalization, which are established by organization IALE in decree E-110. In thesis is described Arduino platform, methods of 3D printing and used materials. For model needs was designed printed circuit board with microcontroller ATmega328P, which control RGB LED. Program, which control model, was written on Arduino platform. Program has nine modes of sea light communication. It can change periode, color of LED, brightness and turning on power saving mode. The result of this work is a functional model of lighthouse powered by battery. Model is based on Green Cape Lighthouse in Australia in scale 1:58.

KEYWORDS

Lighthouse, navy communication, arduino, atmega328P, IALA, E-110, remote, infrared diode, RGB LED, 3D print, accumulator, Green Cape Lighthouse

CHADIMA, Jan. *Maják pro námořní orientaci*. Brno, 2021, 34 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: Ing. Jan Pospíšil

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Maják pro námořní orientaci“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Janu Pospíšilovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Děkuji také Janu Holánikovi za technickou konzultaci ohledně správného návrhu desky plošných spojů.

Děkuji také Báře Přehnilové a Pavlovi Malíkovi za pomoc při gramatické kontrole práce.

Obsah

Úvod	8
1 Teoretická část studentské práce	9
1.1 Maják	9
1.1.1 Historie majáku	9
1.2 Osvětlení	11
1.3 Signalizace	12
1.3.1 Typy námořní signalizace	12
1.3.2 Druhy světelných signalizací	12
1.4 Arduino	14
1.4.1 Arduino UNO	14
1.5 3D Tisk	15
1.5.1 FDM Tisk	15
1.5.2 PLA	16
1.5.3 PETG	16
2 Výsledky studentské práce	17
2.1 Výběr platformy	17
2.2 První návrh	18
2.2.1 Operační část	18
2.2.2 Světelný zdroj	20
2.3 Druhý návrh	21
2.4 Model	22
2.5 Program	23
2.5.1 Dálkový ovladač	24
2.6 Sestavení a měření	25
Závěr	28
Literatura	29
Seznam symbolů, veličin a zkratk	32
A Zdrojový kód	33
A.1 Zdrojový kód funkce přerušení <code>interruptFunction</code>	33
B Obsah příloženého archívu	34

Seznam obrázků

1.1	Maják Pharos z Alexandrie	10
1.2	Fresnelova čočka	11
1.3	Arduino UNO	14
1.4	Výskyt “stringování“ při tisku modelu	16
2.1	Zapojení na Arduino UNO	17
2.2	Blokové schéma zapojení	18
2.3	Schéma operační část	19
2.4	Návrh desky plošných spojů	19
2.5	Schéma LED část	20
2.6	Upravené schéma operační části	21
2.7	Deska plošných spojů upraveného zapojení	22
2.8	Ukázka přero drážky	22
2.9	Green Cape Lighthouse	23
2.10	Dálkové ovládání	24
2.11	Ukázka osazené desky	26
2.12	Ukázka modelu	27

Úvod

Tato práce popisuje námořní navigaci a různé možnosti zrealizování dané navigace. Konkrétně se zaměřuje na nejdůležitější stavbu námořní orientace maják. Plní několik funkcí v námořní navigaci, ať už to je navigování k pobřeží, či podávání signálu o nebezpečí nebo k navigaci úzkým kanálem. Hlavním parametrem je dobrá viditelnost na velkou vzdálenost.

Cílem projektu je navrhnout a zrealizovat funkční model majáku, který bude využit k výuce. Tento model obsahuje desku plošných spojů s integrovaný obvod Atmel ATmega328P, na kterém jsou naprogramovány jednotlivé námořní signály, mezi kterými se dá přepínat dálkovým ovládáním. Napájení modelu je zrealizované akumulátorem, který se dobíjí připojením do sítě. Námořní signály budou realizované pomocí barevně svítivé *Light-emitting diode* (LED), která je umístěna v horní části modelu.

1 Teoretická část studentské práce

1.1 Maják

Maják je věž postavená na pevnině nebo mořském dnu sloužící jako pomůcka pro námořní pobřežní plavbu, varuje námořníky před nebezpečím, určuje jejich polohu a navrácí je na místa určení. Od moře lze maják identifikovat podle výrazného tvaru nebo barvy věže, podle barvy nebo vzoru záblesků světla či podle kódovaného rádiového signálu. Vývoj elektronických navigačních systémů měl velký vliv na roli majáků. Výkonná světla se stávají nadbytečnými, zejména u pevniny, ale došlo k výraznému navýšení drobných světél a bójek, které jsou důležité pro navádění námořníků úzkými nebo rušnými kanály a k přístupu k přístavům [1]. Mezi námořníky je stále preferován pro ujištění vizuální navigace. Osvětlené značky mají své výhody v jednoduchosti a nízkých cenách. Kromě toho je mohou používat plavidla bez speciálního vybavení na palubě, což funguje jako záloha, kdyby selhaly sofistikovanější systémy [2].

1.1.1 Historie majáku

Ještě před vznikem přístavů, mořeplavci používali k navigaci ohně postavené na vrcholech kopců nebo útesů. Čím výše byl oheň položen, tím lépe šel vidět z dálky. To vedlo ke vzniku majáků. První zmínky o majáku byly poznamenány v díle Ilias a Odyssea od Homéra. Prvním doloženým majákem byl známý Pharos z Alexandrie, který byl vysoký 110 metrů a měl na sobě nápis věnovaný Diovi, bohu blesku, který se nacházel na straně směřující k moři. Po dlouhou dobu byl maják jeden ze sedmi divů starověkého světa [3].

Římané během průběhu rozšiřování svého impéria stavěli mnoho majákových věží a do roku 400, od Černého moře k Atlantiku, bylo v provozu asi 30 majáků. Například slavný maják v římském přístavu v Ostii dokončený v roce 50 n.l. nebo majáky v Boulogne ve Francii, v Dover v Anglii, kde jsou ještě pozůstatky původního římského majáku k nalezení. Féniciáné například používali majáky k označení obchodní cesty ze Středomoří do Velké Británie. V tomhle období majáky používaly jako zdroj světla dřevěné hranice nebo pochodně. V prvním století se začaly používat svíčky nebo olejové lampy [2].

Pokles obchodu v době temna pozastavil rozšiřování majáků až do doby oživení obchodu v Evropě v roce 1100. Hlavními konstruktéry nových majáků se ujmuly Itálie a Francie. Do roku 1500 se odkazy na majáky staly běžnou součástí map a knih o cestování. Do roku 1600 existovalo nejméně 30 hlavních majáků. Tyhle majáky byly podobné těm ve starověku, používaly většinou dřevo, uhlí, pochodně,



Obr. 1.1: Maják Pharos z Alexandrie [4]

nebo olejové lampy a svíčky [2]. Znamý maják téhle doby byl Lanterna z Jánova v Itálii, postavený v roce 1128 [5] a přestavený v roce 1544 [2] jako impozantní věž, která dodnes zůstává úctihodnou námořní značkou [6].

Vývoj moderních majáků začal v době pokroku stavitelství a v osvětlovacím zařízení. V počátcích vzniku moderních majáků se při stavbě používalo zdivo a cihly, postupem času se stávaly oblíbenějšími materiály beton a ocel. Beton, který je strukturně vhodný a přiměřeně levný, je vhodný zejména pro esteticky příjemné návrhy majáků na pobřeží. Moderní stavební metody značně usnadnily stavbu majáků na otevřeném moři. Na měkkém podkladu se používá metoda ponořeného kesonu, kde ocelový keson nebo válec s otevřeným koncem je umístěn na mořském dně. Výkopem písku je zapuštěn do mořského dna. Zároveň podle potřeby jsou přidány další sekce, aby zůstaly nad hladinou vody. Keson je nakonec odčerpán do sucha a naplněn betonem, aby vytvořil pevný základ, na kterém je postaven maják. Na vhodném mořském dnu je možné postavit maják "float out", který se skládá z válcové věže na velké betonové základně. Věž je postavena v pobřežním kotvišti, přesunuta na místo a poté zapuštěna na mořské dno, kde je naplněna pískem. Tyhle věže potřebují ke své stabilitě velkou hmotnost, vyrovnané a připravené mořské dno. Další konstrukcí, která nezáleží na podmínkách mořského dna je ocelová konstrukce, kterou můžeme vidět na pobřežních ropných plošinách [2].

1.2 Osvětlení

Dřevěné hranice byly používány až do roku 1800, i když od roku 1550 se začalo používat uhlí a jiná dlouho hořící paliva. Uhlí poskytovalo lepší svítivost, než ostatní zdroje světla. Hlavní nevýhodou uhlí a olejových lamp bylo hodně vyprodukovaného kouře, kvůli kterému se zatmavovaly skleněné panely, které blokovaly světlo. V roce 1782 byla vynalezena Aimé Argandem Argandova lampa, která přinesla pokrok ve zdroji světla. Byla to olejová lampa, která měla lepší svítivost oproti jiným lampám té doby a stala se běžným signálním zařízením majáku po více než sto let [7].

Po přelomu 20. století se díky zavedení procesu rozpuštěného acetylenu, který umožnil bezpečné skladování, začaly používat plynové lucerny plněné acetylenovým plynem, který byl vyráběn z vápníku a vody. Acetylenový plyn, který měl zásadní vliv na pokrok technologii majáku, produkoval stejné světlo jako olejové lampy a jeho obsluha byla lehčí. Díky práci švédského chemika Gustafa Daléna, který stál za tvorbou automatického bezobslužného osvětlení, umožňující stavbu bezobslužných majáků na odlehlých a nepřístupných místech, vyžadující pouze každoroční návštěvu k doplnění zásobních válců a servisu majáku. Postupem času byly plynové lampy nahrazovány elektrickými žárovkami, které se ve 20. letech 20. století staly standardním osvětlením [2]. A díky vynálezu francouzského fyzika Augustina-Jeana Fresnela, který vynalezl v roce 1822 Fresnelovu čočku zvyšující účinnost až o 80%, se zlepšila viditelnost na jednotky desítek kilometrů [8].



Obr. 1.2: Fresnelova čočka [9]

1.3 Signalizace

V námořní signalizaci se používají různé metody k předání informací námořníkům. Dříve se používaly jednoduché otevřené ohně upozorňující na pobřeží. Pokrok v technologii umožnil komplexnější metody signalizace, zavedly se záblesky světla v odlišných intervalech pro předávání informací. Začaly se používat zvukové signály a později se přidala i rádiová a satelitní navigace [2].

1.3.1 Typy námořní signalizace

V námořní signalizaci rozlišujeme funkci a typ podle umístění. Máme majáky, signální věže, sektorová světla, bójky, kritické plovoucí pomůcky, pomocné značky, vedoucí světla a přístavní značky. Každé z těchto signalizačních zařízení má svoje specifické signály a charakteristiky. Primárně se zaměříme na charakteristickou signalizaci majáků [10].

1.3.2 Druhy světelných signalizací

Tab. 1.1: Přehled Světelných signálů [11]

Označení	Popis	Specifikace
Fixed light	Nepřetržitě svítící světlo	Nepřetržitě svítící světlo by se mělo používat s opatrností, protože nemusí být rozpoznáno jako pomocné navigační světlo.
Occluding light	Signál, kde celkový čas světelné periody je delší než tmavé periody	Světlo, kde celkový čas svítící periody je delší než délky zatmění, periody zatměný jsou stejně dlouhé.
Single-occluding light	Occluding light, kde zatmění je opakováno po době t	Doba světelné periody by měla být třikrát delší než doba zatmění. Perioda by neměla být kratší než dvě sekundy. Bílé occulting světlo indikuje bezpečné vody.
Group-occluding light	Occluding light, kde skupina period zatmění se opakuje po době t	Doba světla mezi zatměními je stejná délka a je kratší než doba světla mezi skupinami. Počet zatmění ve skupině nesmí být více než 5. Značení žlutým světlem indikuje speciální značku.

Tab. 1.2: Přehled Světelných signálů [11]

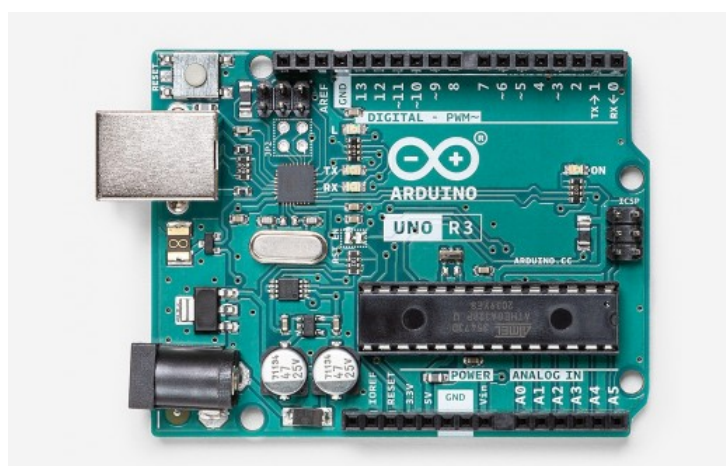
Composite group-oculting light	Podobné jako Group-oculting light, odlišné skupiny v periodě mají různé počty zatmění.	Tento signál se nedoporučuje používat, protože je těžký rozeznat.
Isophase light	Signál, kde doba světla a zatmění má stejnou dobu.	Perioda by nikdy neměla být kratší než dvě a čtyři sekundy, aby se lépe dala rozeznat od Occulting nebo Flashing signálu. Bílé světlo indikuje bezpečnou vodu.
Flashing light	Blikající světlo, kde rozsvícení je pravidelně opakováno.	Perioda zatmění je třikrát delší než perioda bliknutí. Celková perioda by neměla být menší než dvě sekundy.
Signle flashing light	Blikající světlo, kde rozsvícení je pravidelně opakováno.	Doba intervalu mezi dvěma bliknutími by neměla být kratší než doba třech bliknutí. Žlutá barva indikuje speciální značku.
Long flashing light	Jedno bliknutí světla.	Doba světelného bliknutí by neměla být kratší než dvě sekundy. Dlouhé blikající bílé světlo s periodou deset sekund indikuje bezpečnou vodu.
Group flashing light	Blikající světlo, kde je skupina bliknutí v periodě.	Zatmění mezi bliknutími ve skupině je kratší než zatmění mezi skupinami. Počet bliknutí ve skupině by neměl být větší než 5. Doba zatmění ve skupině by neměla být kratší než doba bliknutí.
Composite group-flashing light	Světlo podobné skupině blikajících světél, kromě toho že odlišné skupiny bliknutí mají jiný počet bliknutí.	Skupiny by měly být omezeny na 2+1 bliknutí a 3+1 by měla být výjimka.
Quick light	Světlo, které se opakuje více než padesátkrát za minutu, ale méně než osmdesátkrát za minutu.	Světlo, kde se bliknutí opakují šedesátkrát za minutu.
Continuous quick light	Rychlé blikání světla.	Rychlé blikání bílého světla značí kardiální značku.

1.4 Arduino

Arduino je open-source platforma založená na jednoduchém hardwaru a softwaru. Desky Arduino mají několik dedikovaných portů, které je možné naprogramovat jako vstupy či výstupy. Na vstupní port je možné přivést senzory, tlačítka, infračervenou diody a mnoho dalšího. Výstupní porty jsou použity pro ovládání LED, motoru, sirény, reproduktor atd. Arduino pracuje na metodě posílání instrukcí na mikrokontrolér, který se nachází na desce. K tomu je použit Arduino programovací jazyk založený na Wiring jazyku. Díky otevřenosti platformy a nízkým nákladům k provozu je Arduino preferováno pro použití u jednoduchých projektů. Mezi jednotlivé modely Arduina patří například Arduino UNO, Arduino nano, Arduino Mega a další. [12]

1.4.1 Arduino UNO

Arduino vyrábí několik různých desek, lišící se parametry, velikostí a určenému zaměřením. Jedna z prvních a nejznámějších je deska Arduino UNO. UNO je založeno na mikrokontroléru ATmega328P od společnosti Atmel. Je to energeticky efektivní 8-bitový *Complementary metal-oxide-semiconductor* (CMOS) mikrokontrolér běžící na *Reduced instruction set computer* (RISC) architektuře. S následující parametry: 32KB Flash paměti, 1KB *electrically erasable programmable read-only memory* (EEPROM) paměti, 2KB *Static random-access memory* (SRAM) paměti. Napájecí napětí je 1,8 V až 5,5 V. 23 komunikačních linek, které můžeme rozdělit na 6 analogových vstupů, 14 digitálních vstupů/výstupů z kterých 6 portů podporuje *Pulse-width modulation* (PWM) výstup a 2 porty podporující přerušování. [13].



Obr. 1.3: Arduino UNO [14]

1.5 3D Tisk

V dnešní době se při výrobě *Three-dimensional* (3D) předmětů používají dvě metody, “subtraktivní“ a “aditivní“. Nejvíce rozšířená je metoda subtraktivní, touthle metodou jsou předměty vytvářeny odřezáním nebo frézováním velkého bloku materiálu. Tahle metoda má hodně odpadového materiálu a většinou je cenově náročná. Další metodou je aditivní metoda, kde jsou předměty vyráběny skládáním jednotlivých vrstev na sebe. Následující metodu využívají 3D tiskárny, které se pak odlišují metodou tisku a použitým materiálem [15].

3D tisk je v dnešní době rozšířený nástroj pro výrobu prototypů a složitých nebo na míru vyrobených předmětů, které by nešly nebo by byly moc drahé vyrobit jinou metodou. Pro model majáku je nutné zvolit vhodnou metodu tisku a materiál. Podle *American Society for Testing and Materials* (ASTM) standardu F2792 [16], rozdělujeme 3D tisk do 7 skupin, obsahující binding jetting, direct energy deposition, material extrusion, material jetting, powder bed fusion, sheet lamination a vat photopolymerization. Každá skupina, i přes své výhody i nevýhody, má využití v praxi [17].

1.5.1 FDM Tisk

Do skupiny materials extrusion patří technologie *Fused deposition modelling* (FDM) tisku, který je pro naše účely nejvhodnější [17]. FDM technologie je hodně rozšířená hlavně díky velkému množství využití a dostupných materiálů. Díky velké škále materiálů umožňuje FDM technologie tisknout s jednoduchostí a vhodným výběrem materiálu dokážeme dosáhnout různých vlastností, jako třeba flexibility, odolnosti, termální odolnosti, stability nebo dokonce i možnost tisknout elektricky vodivým materiálem. Vytisklý předmět nepotřebuje žádné konečné úpravy, čištění nebo úpravu povrchu třeba broušením.

Při složitějších tvarech jsou potřeba podpory na udržení stability při tisku. Při použití takových podpor je potřeba podpory odstranit z koncového předmětu. Ať už odříznutím nebo použitím rozpustitelného materiálu ve vodě, který se primárně používá na podpory.

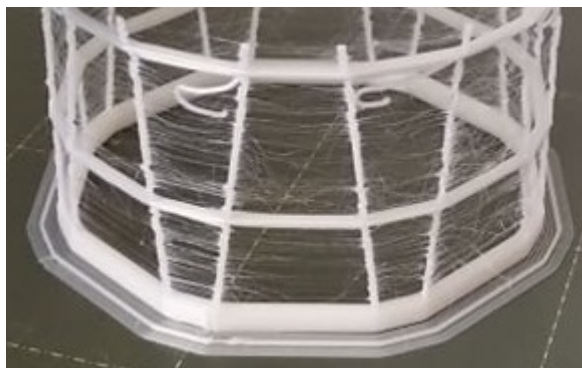
Standartní metoda FDM tisku spočívá v nanášení setu nahřátých vláken tvořících jednu vrstvu, které se skládají na sebe. Díky teple se tyto vrstvy na sebe "nalepí" a tvoří stabilní strukturu. Díky změnám směru nanášení se docílí lepší stability a umožní skládat na sebe vrstvy, které přesahují okraje předchozí vrstvy. Takhle můžeme tisknout bez podpor, ale jen když úhel vrstev nepřesáhne 45°, více by vrstvy neudržely a deformoval by se tvar výsledného objektu. V tomhle případě využijeme podpory [15].

1.5.2 PLA

Polylactic acid (PLA) je jedním z nejlehčích materiálů ze kterých lze tisknout, hlavně díky svému nízkému stupni tavení a nízké ceně. PLA je biologicky odbouratelný polyester na rostlinné bázi. K tisku není potřeba vyhřívaná podložka. Díky teplotě tání, která je 175 °C, lze tisknout s nízkou teplotou trysky. PLA je vhodné jak pro tisk malých detailních modelů, tak také pro tisk velkých celovyplněných modelů. Oproti jiným dostupným materiálům PLA není náchylné k výrazné deformaci. Díky těmto vlastnostem je PLA používáno na rychlé a levné vytváření modelů a prototypů. Mezi nevýhody patří nízká odolnost vysokým teplotám, degradace pod *Ultraviolet* (UV) zářením a slabší mechanická odolnost. PLA měkne a deformuje už při 60 °C. [18]

1.5.3 PETG

polyethylene terephthalate glycol-modified (PETG) je upravená verze *Polyethylene terephthalate* (PET), který je jeden z nejvíce používatelných plastů, který se používá pro výrobu láhví na vodu. Materiál je obohacen glykolem, díky kterému je materiál snazší k tisku. Hlavní předností PETG je jeho teplotní odolnost a odolnost proti nárazu.[19] [20] Mezi největší problém materiálu při tisku je tzv. “stringování” viz. obr.1.4, které se projevuje jako viditelně tenké nitě [21]. Díky této vlastnosti je obtížné z materiálu tisknout detailnější modely



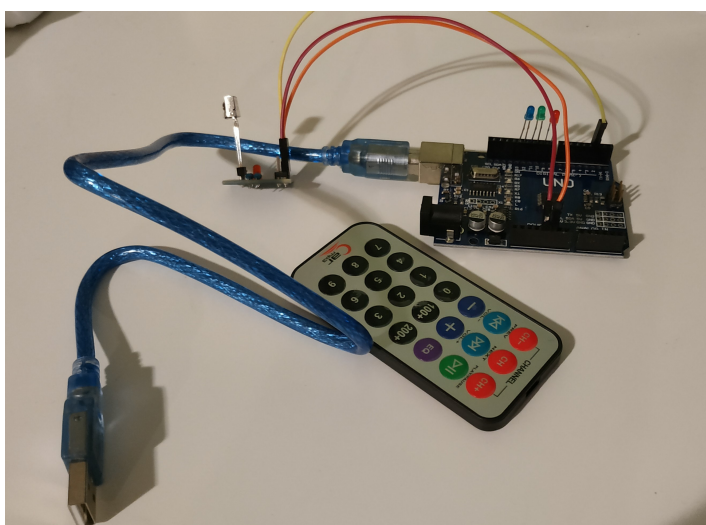
Obr. 1.4: Výskyt “stringování” při tisku modelu

2 Výsledky studentské práce

Tato část bakalářské práce obsahuje kapitoly návrh a realizace majáku, výběr platformy a součástek pro funkci modelu majáku. Tato kapitola dále je rozdělena do šesti částí: výběr platformy, první návrh, druhý návrh, model, program, sestavení a měření.

2.1 Výběr platformy

Při výběru platformy bylo rozhodnuto použít Arduino místo alternativ jako Raspberry Pi, BeagleBone, Shark Cove, Minnowboard a další. Mezi všemi platformami je Arduino a Raspberry Pi nejoblíbenější s největší uživatelskou základnou. Díky tomu je platforma dobře známa a zdokumentována, takže při naskytnutí problému je velká pravděpodobnost že problém už někdo řešil a zdokumentoval řešení, či je možnost se zeptat na uživatelských fórech o pomoc. Platforma Arduino byla vybrána z důvodu otevřenosti platformy a velkému rozmezí modelů podporovatelných jednočipů, díky kterým si můžeme vybrat jednočip s parametry přesně určený pro účely modelu.

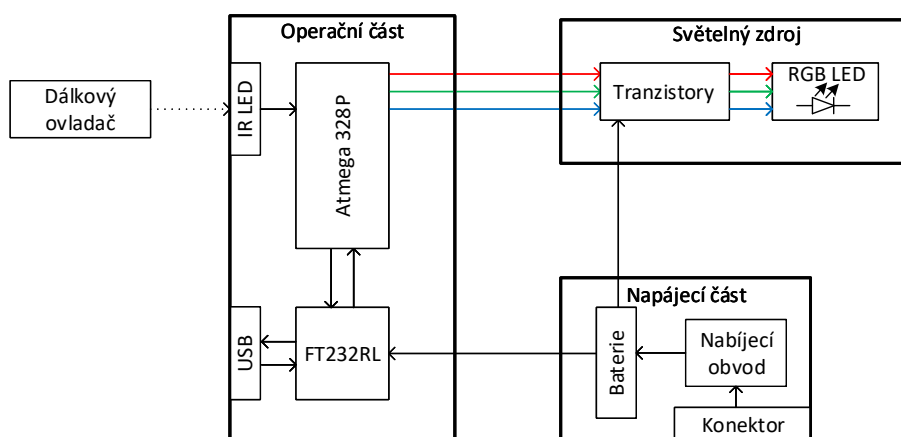


Obr. 2.1: Zapojení na Arduino UNO

Pro účely modelu bylo zvoleno Arduino UNO, které obsahuje mikrokontrolér ATmega328P. Na výstupní porty byly napojeny LED a *Infrared* (IR) přijímač. Byl napsán jednoduchý program, který měl několik módů námořní signalizace a rozsvítil podle toho LED. Dálkovým ovladačem bylo možné mezi jednotlivými módy přepínat a měnit jejich periodu.

2.2 První návrh

Základem prototypu byl vybrán mikrokontrolér ATmega328P-AU, díky jeho dostupnosti a nízké energetické náročnosti, který bude ovládat 3 W RGB LED. Protože výstupní porty čipu ATmega328P neumožňují větší proudový odběr potřebný pro provoz 3 W RGB LED, byly přidány do zapojení ke každé barvě dva paralelně zapojené tranzistory BSS138, které umožní spínat jednotlivé barvy LED. Nahrávání nových verzí programu a komunikace s počítačem bude realizována skrze sběrnici *Universal Serial Bus* (USB), která bude zapojena do jednočipového převodníku FT232RL, který data převede z USB na *Recommended Standard 232* (RS-232), díky čemuž je možné programovat mikročip ATmega328P-AU. [22]. Z vybraných součástek bylo vytvořeno schéma zapojení, které bylo rozděleno do dvou částí: operační část a led část. Následně byla vytvořena deska plošných spojů operační části. Z důvodu možnosti nedostupnosti vybraných tranzistorů nebo sehnání lepší alternativy byl veden důraz primárně na návrh a otestování operační části.

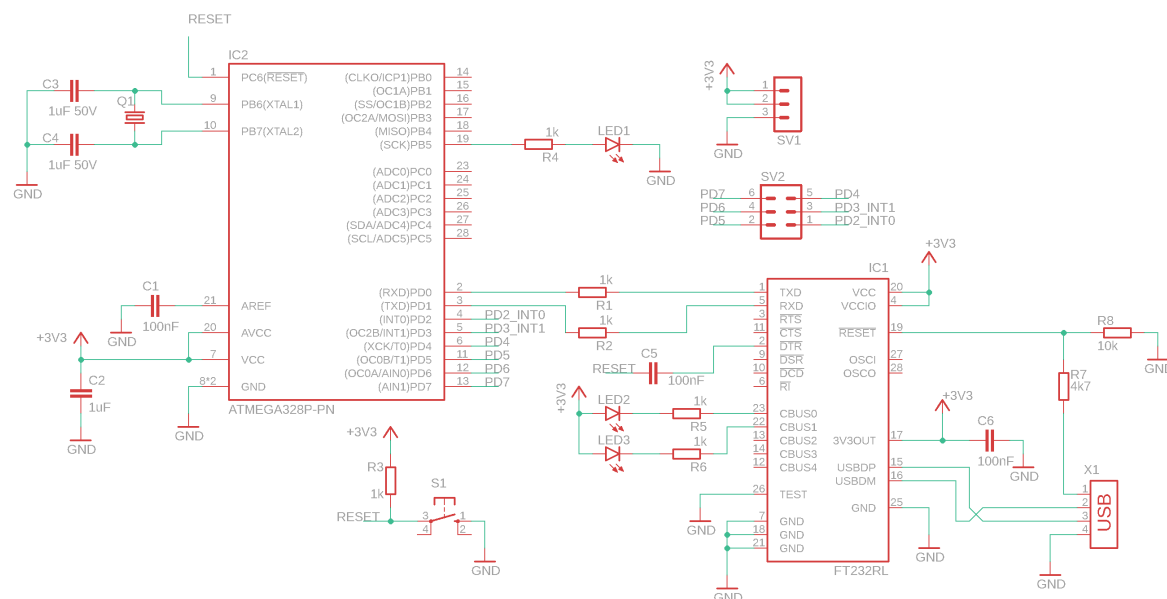


Obr. 2.2: Blokové schéma zapojení

2.2.1 Operační část

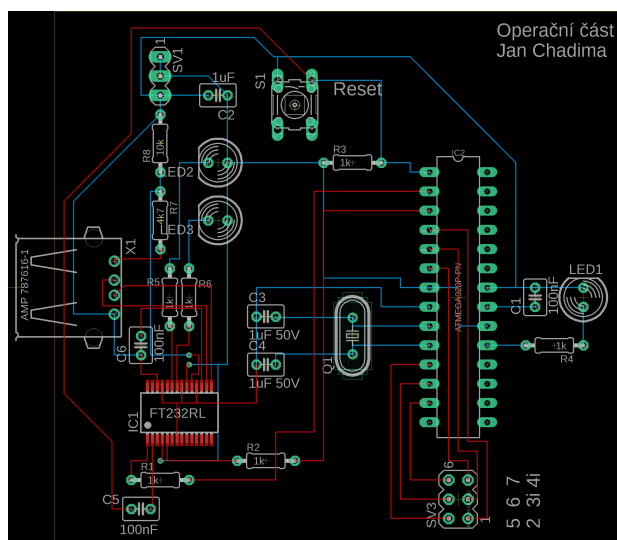
Mikročip ATmega328P nabízí 6 analogových a 13 digitálních portů z toho 2 digitální porty umožňují přerušení, které je potřeba pro správnou funkčnost infračervené diody. Porty 0 a 1 slouží ke komunikaci pomocí sériové linky RS-232 a jsou přivedeny na výstup jednočipového převodníku FT232RL. Porty 2 až 7 jsou svedeny do jedné

2*3 kolíkové lišty na připojení k LED a IR diodě. Napájení je možno v rozsahu 3,3 V až 5 V, díky napájení z akumulátoru 18650 se budeme pohybovat v tomhle rozmezí.



Obr. 2.3: Schéma operační části [23][24]

Kvůli čipu FT232RL, který je *Surface mount device* (SMD) [24] byla navržena deska na dvě vrstvy, a to vrchní a spodní.



Obr. 2.4: Návrh desky plošných spojů

2.2.2 Světelný zdroj

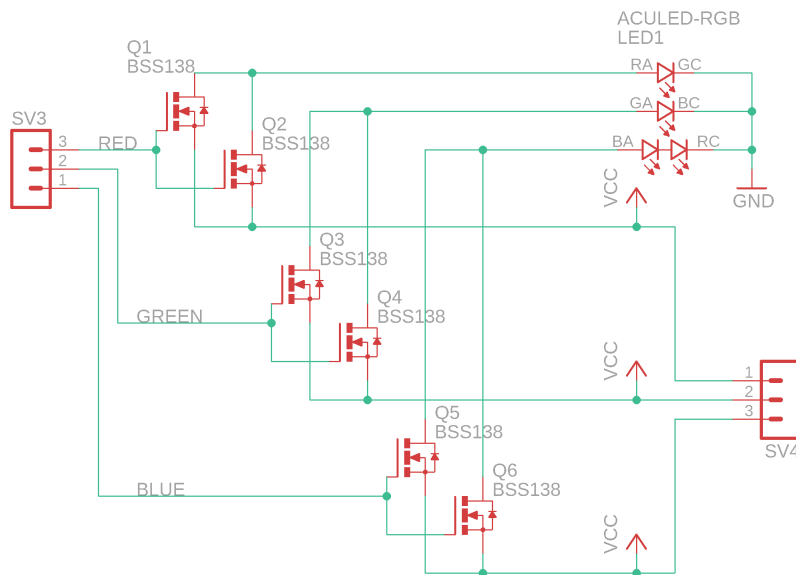
Hlavní parametry námořních světelných signálů jsou čtyři barvy (bílá, zelená, červená a žlutá) a dobrá viditelnost na velké vzdálenosti. Jednotlivé LED v barvách bílá, zelená, červená a žlutá byly zamítnuty z důvodu většího počtu tranzistorů a velkého zabrání užitkového místa. Na zlepšení viditelnosti a dosahu se v praxi používá Fresnelova čočka, vzhledem k velikosti modelu není možné požit Fresnelovu čočku.

Světelný zdroj byla vybrána 3 W RGB LED se světelným tokem 60/100/30 lumenů pro barvy červená/zelená/modrá a svítivým úhlem 120° [25]. Vzhledem k parametrům RGB LED a napájecího napětí v rozmezí 3,5 V až 4,2 V, byly vypočítány podle vzorce č.2.1 hodnoty odporů 2,7 pro modrou a zelenou barvu a 4,7 pro červenou barvu.

$$R = \frac{U}{I} \quad (2.1)$$

kde R představuje předřadný odpor, U představuje napětí na diodě, I představuje proud protékající diodou.

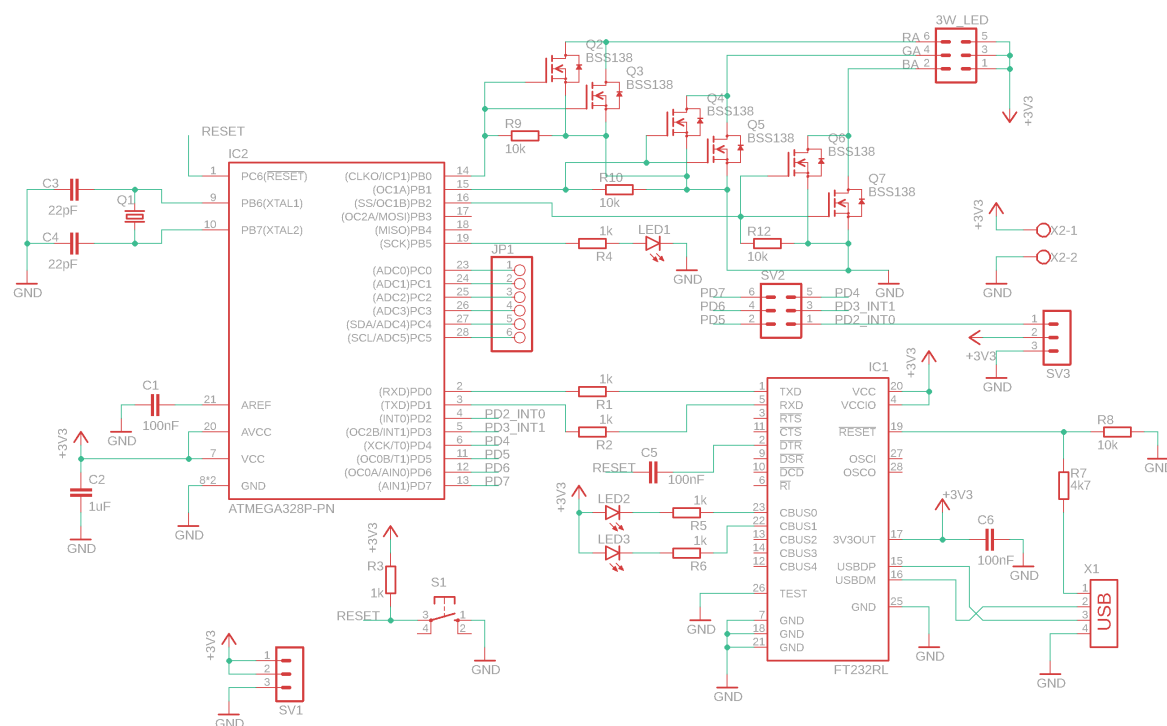
Spínání jednotlivých barev je řešeno dvěma *Metal-oxide-silicon field-effect transistor* (MOSFET) tranzistory BSS138 zapojenými paralelně pro každou barvu až pro zátěž 500mA.



Obr. 2.5: Schéma zapojení RGB LED

2.3 Druhý návrh

Po detailnějším rozboru zapojení a poskytnutí SMD tranzistorů bylo opuštěno od rozdělení desky do dvou částí a následně byl předělán návrh zapojení. Byly přidány

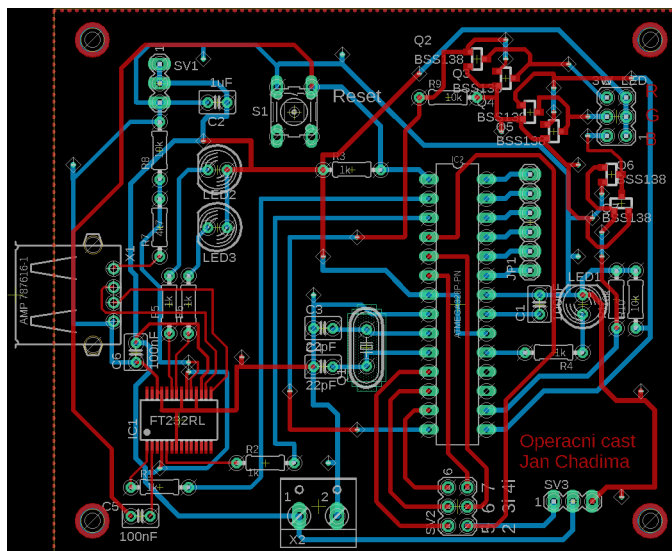


Obr. 2.6: Upravené schéma operační části

dedikované výstupy pro RGB LED a IR diodu. Zapojení tranzistorů BSS138 bylo upravené a zaimplementované na hlavní desku. Byla přidána svorkovnice přivedení napájení mikročipů a RGB LED. Dále byly upraveny trasy kolem krystalu, aby bylo zabráněno nežádoucímu rušení.

Napájení

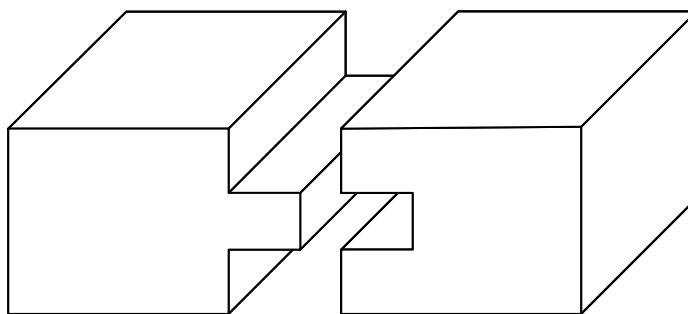
Ke správné funkčnosti majáku je potřeba vybrat i vhodné napájení. Proto bylo vybráno napájení jedním Li-Ion akumulátorem 18650 o kapacitě 3500 mAh, jmenovité napětí 3,7 V, maximálním proudem 10 A a s možností až 500 nabíjecích cyklů [26]. Akumulátor je přiveden na nabíjecí obvod od firmy Okystar s maximálním nabíjecím proudem 1 A a výstupní napětí 4,2 V. Obvod je napájen 5 V stejnosměrného napětí přes konektor USB-C. [27] Bylo zvažováno zaimplementovat nabíjecí obvod do hlavní desky, ale z důvodu nedostupnosti potřebných součástek a velké velikosti výsledné desky bylo od tohoto nápadu upuštěno.



Obr. 2.7: Deska plošných spojů upraveného zapojení

2.4 Model

Model majáku je založený na majáku Green Cape Lighthouse nacházející se v Austrálii postavený v roce 1883. Maják dosahuje výšky 29 metrů. [28] Model je v poměru 58:1 s výškou něco přes půl metru. Kvůli tisku byl model rozdělen na 9 částí, které jsou slepené dohromady. Stabilitu modelu zajišťuje pero drážky, kde na jedné straně je uprostřed žlábků do které zapadne druhá strana, viz obr.2.8. Model byl vybrán



Obr. 2.8: Ukázka pero drážky

pro jeho specifickou bílou barvu a jednoduchý design, který je vhodný k 3D tisku. Model byl stažen z webové stránky Thingiverse.com, která slouží jako databáze volně dostupných modelů k 3D tisku [29].



Obr. 2.9: Green Cape Lighthouse [30]

Model světelné místnosti byl upraven. Byl přidán žlábek o velikosti 11 mm do kterého je posazená RGB LED s chladičem. Po stranách byly udělané 3 díry na dvou stranách pro potřebné dráty k zapojení zmíněné RGB LED, které jsou pak svedené na spodek modelu kde je upevněná deska. Dále byl upraven model dveří o platformu na kterou je přidělaná nabíjecí deska s USB-C konektorem pro nabíjení akumulátoru. Model je složený s devíti částí, ze dvou materiálů a čtyř barev. Podstava modelu se skládá ze tří barev: černé, modré a bílé. Docílilo se toho výměnou filamentu v průběhu tisku. Základní konstrukce modelu je vytisklá z bílého PLA filamentu, který odpovídá barvě majáku na kterém je model založen. Zábradlí je složeno z hnědě zbarvené základny a černě zbarveného zábradlí. Podstava pro umístění LED je vytiská z PETG materiálu, aby se zabránilo deformaci plastu kvůli teplu vydávaného RGB LED.

2.5 Program

Program je napsán v jazyce C++ ve vývojovém prostředí Arduino *Integrated development environment* (IDE) a je rozdělen na tři části. První část prvotní nastavení portů mikročipu a inicializování proměnných. Dále bylo nastaveno přerušení na vstupním pinu 2, které po přivedení signálu na pin spustí funkci `interruptFunction()`.

Druhá část programu probíhá v nekonečné smyčce, kde se nachází logická metoda

`switch()`, která má na starost přepínání mezi módy světelné signalizace za pomoci proměnné `mode`. Díky dálkovému ovladači, který vyšle signál na infračervenou diodu, lze přepínat mezi módy. Signál z infračervené diody spustí přerušení hlavní smyčky programu a výkoná se funkce `interruptFunction()`, která převede signál do hexadecimální podoby. Ukázka funkce je v příloze A.1. Pomocí hexadecimálního kódu a funkce `switch()` je rozpoznáno jaká klávesa byla stisknuta a je vykonána potřebná operace.

Dále byla v programu zaimplementována funkce na převedení mikročipu do tzv. sleep módu. Tahle funkce se spustí po stisknutí tlačítka “play/pause” na ovladači. Následně mikročip přejde do spánku do doby, než bude na ovladači stisknuto jakékoliv tlačítko. Svítivost RGB LED je udělána pomocí PWM modulace jednotlivých barev. Díky PWM modulaci je možné na RGB LED zobrazit velké spektrum barev. Pro účely námořní signalizace jsou podstatné čtyři barvy: bílá, červená, zelená a žlutá mezi kterými se přepíná určenými tlačítky.

2.5.1 Dálkový ovladač

Dálkový ovladač se skládá z 21 tlačítek. V programu je implementovaná akce po zmáčknutí 19 tlačítek, zbylé dvě tlačítka nejsou implementovaná a jsou ponechána jako případná rezerva pro další funkce. Seznam tlačítek a funkce jsou v tabulce č.2.1.



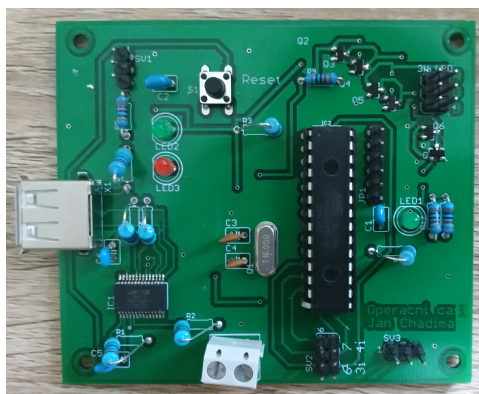
Obr. 2.10: Dálkové ovládání

Tab. 2.1: Přehled tlačítek ovladače

Označení	Funkce
CH -	Výběr barvy - zpět
CH	Výběr barvy - bílá
CH +	Výběr barvy - další
Zpět	Snížení doby periody
Dopředu	Zvýšení doby periody
Play/pause	Power-saving mode
Vol -	Snížení svítivosti
Vol +	Zvýšení svítivosti
EQ	Výběr ostatních barev běžně nepoužívaných pro námořní navigaci
0	Mód isophase
100+	Není naprogramováno
200+	Není naprogramováno
1	Mód fixed light
2	Mód flashing light
3	Mód group flashing light
4	Mód occulting
5	Mód group occulting
6	Mód quick light
7	Mód group quick light
8	Mód alternate
9	Mód occulting alternate

2.6 Sestavení a měření

Do podstavce pro světelný zdroj byla vložena 3 W RGB LED s hliníkovým chladičem o průměru 10 mm a výšce 5 mm, který byl k LED přilepeným teplovodivým lepidlem. Na výstupy RGB LED bylo připájeno 6 drátů, které byly svedeny přes namodelované díry dovnitř modelu. LED byla zakrytá mléčným difúzním sklem, které kvůli nemožnosti samostatného koupení bylo vytrženo z LED žárovky volně dostupné v elektro obchodě. Na spodní modelu byla přilepená silnou oboustranou lepicí páskou infračervená dioda, jejíž dráty svedeny přes okno do vnitřku modelu. Na plošině u modelu dveří byl přilepený nabíjecí obvod s konektorem USB-C. Do spodní části modelu bylo připevněno pouzdro pro akumulátor. Všechny elektronické části modelu byly přivedeny na hlavní desku, která byla připevněna ve vnitřku modelu.



Obr. 2.11: Ukázka osazené desky

Po sestavení byl model, otestován na výdrž akumulátoru při svícení bílou barvou RGB LED na maximální úrovni.

Akumulátor má při plném nabití má napětí 4,2 V. Po čase 4 hod. a 58 min. napětí na zatíženém akumulátoru kleslo na hodnotu 2,76 V, které způsobilo restartování mikročipu. Po následném vybíjení se restarty mikročipu začaly častěji opakovat až v čase 5 hod. a 3 min. se restarty staly tak častými, že učinili model neovladatelným. V čase 5 hod. 12 min. zhasla RGB LED, napětí na akumulátoru bylo 2,72 V. RGB LED se po půl minutě rozsvítila, ale po chvíli zase zhasla. Tenhle cyklus se opakoval. V čase 5 hod. 19 min. bylo z důvodu omezení degradace vlastností akumulátoru zastaveno měření.

Při testování funkčnosti modelu bylo zjištěné přicházejícího nežádoucího signálu na IR diodu. Signál přicházel na IR diodu jen v případě když se rozsvítila RGB LED. V testování signálu nebyl žádný nežádoucí signál srovnatelný se signálem tlačítka ovladače, ale z podstaty základní funkce programu je po zjištění signálu na IR diodě spuštěné přerušení a zpracování přijatého signálu. Díky téhle podstaty programu může dojít k nechtěnému prodloužení periody o několik strojových cyklů potřebných k vyhodnocení vstupu. Příčina téhle anomálie je způsobena RGB LED, která vyřazuje světlo vlnové délky odpovídajícímu infračervenému spektru. Tahle odchylka může být podrobně změřena na osciloskopu, jenže k nedostatečnému vybavení měřících přístrojů nebyla tahle odchylka změřena. Po celý čas měření chladič zvládl uchladiť LED a nedošlo vlivem tepla k deformaci koše, který je z PLA materiálu, jenž trpí deformací při vyšších teplotách.



Obr. 2.12: Ukázka modelu

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a sestavit funkční model majáku pro zlepšení výuky kapitánských kurzů s konkrétním zaměřením na námořní signály. V teoretické části je popsána teorie a historie majáků a typy námořní signalizace s tabulkou přehledu světelných signálů podle komunikační normy organizace IALA zajišťující normalizaci pravidel námořní navigace. Dále je popsána vybraná platforma Arduino a vysvětlena teorie 3D tisku za pomoci různých metod tisku a rozdílnost materiálů.

Druhá část bakalářské práce se věnuje návrhu vnitřního zapojení a různých alternativ vývojových platform, výběru vhodné platformy a modelu. Je zde i obsažen návrh prototypů desek plošných spojů a tisk modelu. Na začátku jsou shrnuty požadavky a cíle bakalářské práce. Následně je vybrána platforma Arduino UNO a byl navrhnout první prototyp na dané platformě s mikročipem ATmega328P. Po otestování prototypu na nepájivém poli a nalezení různých chyb v návrhu prototypu, bylo předěláno schéma a deska plošných spojů. Následně byla objednaná opravená deska a součástky potřebné pro její funkčnost. Po napájení desky plošných spojů byla otestována funkčnost všech potřebných částí.

Další kapitola je zaměřená na vybrání vhodného modelu a materiálu, ze kterých se model tiskl. Vybraný model byl dále upraven a následně vytisknut pomocí technologie FDM ze dvou materiálů různých barev. Dále byla do modelu přidána deska plošných spojů, nabíjecí obvod s baterií, RGB LED s chladičem a IR LED. Po zapojení a přimontování všech elektronických částí, byl model slepen dohromady.

Pro ovládání majáku byl napsán program v jazyce C++ ve vývojovém prostředí Arduino IDE. Maják je ovládán pomocí infračervené diody a ovladače, který umožňuje dálkové ovládání modelu. V programu je momentálně deset nejpoužívanějších námořních signálů s funkcí měnit délku periody, barvu a svítivost RGB LED. Po nasazení v praxi je plánováno na základě zpětné vazby upravit a doplnit program o další funkce, nicméně při implementaci složitějších funkcí a rozmanitějšího nastavení je nutné vyměnit ovladač za ovladač, který obsahuje více tlačítek. V programu je dále implementován power-saving mód pro vypnutí integrovaného čipu a šetření baterie.

Po sestavení modelu a ověření funkčnosti byla otestována použitelná výdrž akumulátoru při maximální možné svítivosti LED, která se blíží pěti hodin. V praxi, díky dostačující svítivosti LED při nejnižším nastavení, můžeme očekávat mnohonásobně větší výdrž akumulátoru. V průběhu testování modelu byla zjištěna anomálie příjmu nechtěného signálu. Zdrojem nežádoucího signálu je RGB LED, která vyzařuje i v infračerveném spektru.

Literatura

- [1] National Oceanic and Atmospheric Administration. Do we still need lighthouses? URL: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lighthouse.html>.
- [2] Ian C. Clingan. Lighthouse. *Encyclopædia Britannica*, 5. 3. 2019. URL: <https://www.britannica.com/technology/lighthouse>.
- [3] What is a lighthouse? URL: <https://www.surfertoday.com/environment/what-is-a-lighthouse>.
- [4] Stella Maris. The image of the pharos at aleksandria. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/user:Stella_maris.
- [5] Lanterna. URL: <https://www.italybyevents.com/en/events/liguria/lighthouse-genoa-lanterna/>.
- [6] Lighthouses of italy: Liguria. URL: <https://www.ibiblio.org/lighthouse/itanw.htm>.
- [7] Aime argand. *Science and Its Times: Understanding the Social Significance of Scientific Discovery.*, 17.2.2020. URL: <https://www.encyclopedia.com/science/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/aime-argand>.
- [8] The Editors of Encyclopaedia Britannica. Fresnel lens. *Encyclopædia Britannica*, 13.1.2011.
- [9] Frank Schulenburg. Fresnel lens at point arena lighthouse museum. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fresnel_Lens_at_Point_Arena_Lighthouse_Museum.jpg.
- [10] IALA. R1001. URL: <https://www.iala-aism.org/product/r1001-iala-maritime-buoyage-system/>.
- [11] IALA. Rhythmic characters of lights on aids to navigation e-110. URL: <https://www.iala-aism.org/product/rhythmic-characters-of-lights-on-aids-to-navigation-e-110/>.
- [12] What is arduino? URL: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- [13] Atmega640/1280/1281/2560/2561 datasheet. URL: <https://bit.ly/3j6irjg>.
- [14] Arduino uno rev3. URL: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.

- [15] G. Fazzini, P. Paolini, R. Paolucci, D. Chiulli, G. Barile, A. Leoni, M. Muttillio, L. Pantoli, and G. Ferri. Print on air: Fdm 3d printing without supports. In *2019 II Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (MetroInd4.0 IoT)*, pages 350–354, 2019. doi:10.1109/METROI4.2019.8792846.
- [16] *ASTM F2792-12a*. West Conshohocken, PA, 2012. URL: www.astm.org.
- [17] N. Shahrubudin, T.C. Lee, and R. Ramlan. An overview on 3d printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing*, 35:1286 – 1296, 2019. The 2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing, SMPM 2019, 8-10 March 2019, Sun City, South Africa. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919308169>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>.
- [18] Pla. URL: https://help.prusa3d.com/en/article/pla_2062.
- [19] Petg. URL: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/petg/>.
- [20] Petg. URL: https://help.prusa3d.com/en/article/petg_2059.
- [21] 3d tisk. URL: <https://www.svethardware.cz/3d-tisk-jak-funguje-fdm-fff-tiskarna/48457>.
- [22] Atmega328p. URL: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328p>.
- [23] E. Vita. Arduino nano. URL: https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino_Nano-Rev3.2-SCH.pdf.
- [24] Ft232r datasheet. URL: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.959-303.1.pdf>.
- [25] Led 3w, rgb, datasheet. URL: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.518-128.1.pdf>.
- [26] 18650 3500 10a button top xtar. URL: <https://www.tme.eu/cz/details/accu-18650-3.5-10a/akumulatory/xtar/18650-3500-10a-button-top/>.
- [27] Oky3404-1 okystar. URL: <https://www.tme.eu/cz/details/oky3404-1/nabijeci-moduly/okystar/>.

- [28] Green cape lighthouse. URL: <https://lighthouses.org.au/nsw/green-cape-lighthouse/#:~:text=The%20Green%20Cape%20Lighthouse%20was%20built%20in%201883%20and%20was,lighthouse%20in%20New%20South%20Wales.>
- [29] josemivaz. Green cape lighthouse model. URL: <https://www.thingiverse.com/thing:831200>.
- [30] Peterdownunder. Green cape lighthouse. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Green_Cape_Lighthouse_2.JPG.

Seznam symbolů, veličin a zkratek

PLA	Polylactic acid
PETG	polyethylene terephthalate glycol-modified
PET	Polyethylene terephthalate
LED	Light-emitting diode
FDM	Fused deposition modelling
ASTM	American Society for Testing and Materials
3D	Three-dimensional
USB	Universal Serial Bus
V	Volt
RS-232	Recommended Standard 232
RGB	Červená-zelená-modrá
IR	Infrared
SMD	Surface mount device
W	Watt
A	Amper
MOSFET	Metal-oxide-silicon field-effect transistor
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
CMOS	Complementary metal–oxide–semiconductor
RISC	Reduced instruction set computer
SRAM	Static random-access memory
EEPROM	electrically erasable programmable read-only memory
PWM	Pulse-width modulation
UV	Ultraviolet
IDE	Integrated development environment

A Zdrojový kód

A.1 Zdrojový kód funkce přerušení interruptFunction

Výpis A.1: notification_bot/notification_bot_class.py

```
1 void interruptFunction(){
2     if (dalkoveOvl.decode(&vysledek)) {
3         // pro zkoušení nového ovladače stačí odkomentovat
4         // následující řádek a číst data po sériové lince
5         Serial.println(vysledek.value, HEX);
6
7         // volání podprogramu detekceKlaves pro
8         // zjištění názvu klávesy
9         detekceKlaves();
10        // pokračování v detekci nových stisků
11        dalkoveOvl.resume();
12    }
13 }
```

B Obsah přiloženého archívu

```
/.....kořenový adresář přiloženého archívu
├── code.....Složka se zdrojovým kódem
│   └── bak_v1.0.ino
├── domentace ..... Dodatečná dokumentace k modelu
│   └── Ovladani.docx.....Návod k ovladači
├── deska ..... Složka se schématem a PCB hlavní desky
│   ├── deska.brd
│   └── deska.sch
└── model.....Složka s 3D modelem majáku
    ├── LH_Green_Cape_accesories.stl
    ├── LH_Green_Cape_balcony1.stl
    ├── LH_Green_Cape_balcony2.stl
    ├── LH_Green_Cape_base.stl
    ├── LH_Green_Cape_body1.stl
    ├── LH_Green_Cape_body2.stl
    ├── LH_Green_Cape_body3.stl
    ├── LH_Green_Cape_dome.stl
    ├── LH_Green_Cape_optics1.stl
    └── LH_Green_Cape_optics2b.stl
```